

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-228025

(43)Date of publication of application : 03.09.1996

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 07-322924

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 12.12.1995

(72)Inventor : NAKAMURA SHUJI

IWASA SHIGETO

NAGAHAMA SHINICHI

(30)Priority

Priority number : 06320100

Priority date : 22.12.1994

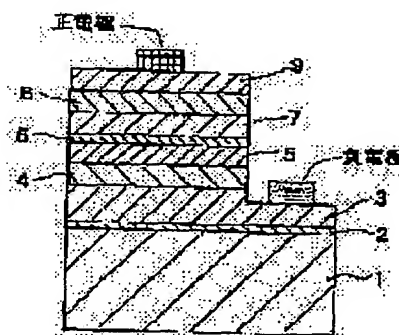
Priority country : JP

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To rapidly enhance the light emitting output by sandwiching an active layer made of InGaN between n type clad layers made of InGaN having a larger band gap than that of this active layer.

CONSTITUTION: An active layer 6 is formed between the first n type and p type clad layers 5 and 7. This active layer 6 formed of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) may be either n type or p type and can emit light between bands by being undoped and enables half value width of the emitted wavelength to be narrowed. As for a preferable combination of the active layer 6 and the first n type and p type clad layers 5 and 7, the first n type clad layer 5, the active layer 6 and the first p type clad layer may be formed of respectively $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ and $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$. In terms of the relation of the band gaps, it is mandatory to be $y < x$, $z < x$. Through these procedures, the crystallizability of the active layer 6 can be enhanced to notably improve the luminous output, thereby enabling a high brightness green colored LED although conventionally hard to make to be realized.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.12.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]	2735057
[Date of registration]	09.01.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-228025

(43) 公開日 平成8年(1996)9月3日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 33/00			H01L 33/00	C
H01S 3/18			H01S 3/18	

審査請求 有 請求項の数16 OL (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-322924
 (22) 出願日 平成7年(1995)12月12日
 (31) 優先権主張番号 特願平6-320100
 (32) 優先日 平6(1994)12月22日
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

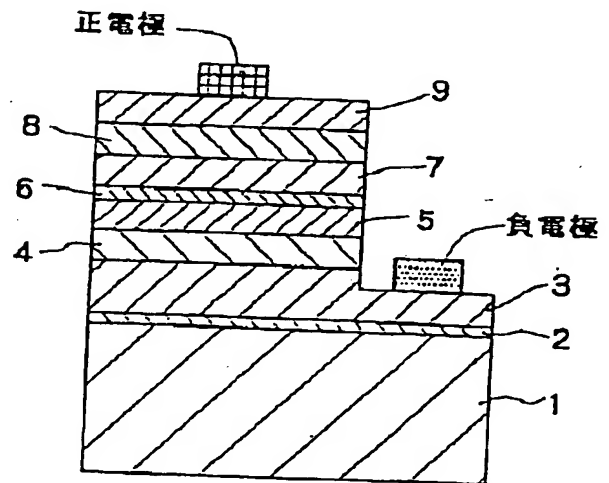
(71) 出願人 000226057
 日亜化学工業株式会社
 徳島県阿南市上中町岡491番地100
 (72) 発明者 中村 修二
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
 (72) 発明者 岩佐 成人
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
 (72) 発明者 長濱 慎一
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
 (74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 向上した発光出力を示す窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 InおよびGaを含有する窒化物半導体からなる活性層(6)の両側またはその一方に接してInおよびGaを含有する窒化物半導体からなるクラッド層(5、7)を形成する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 第1のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を備えることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 第2のn型クラッド層上にn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項3記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 第1のp型クラッド層に接してp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項5記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を備えることを特徴とする請求項5記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項8】 第2のp型クラッド層上にp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項7記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項9】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項10】 第1のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項11】 第1のp型クラッド層に接してp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項9または10記載の窒化物半導体発光素子。

2

【請求項12】 第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項13】 第2のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項12記載の窒化物半導体発光素子。

10 【請求項14】 第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項15】 第2のp型クラッド層上にp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項14記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項16】 活性層が量子井戸構造を有することを特徴とする請求項1ないし15のいずれか1項記載の窒化物半導体発光素子。

20 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する分野】本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等に使用される窒化物半導体($\text{In}_a'\text{Al}_b'\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$, $0 \leq a'$, $0 \leq b'$, $a' + b' \leq 1$)よりなる発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】紫外領域から赤色領域までの波長領域に発光するLED、LD等の発光素子の材料として窒化物半導体($\text{In}_a'\text{Al}_b'\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$, $0 \leq a'$, $0 \leq b'$, $a' + b' \leq 1$)が有望視されている。事実、本出願人は、この半導体材料を用いて、1993年11月に光度1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cdの青色LEDを発表した。これらのLEDは全て製品化されて、現在ディスプレイ、信号等の実用に供されている。

【0003】現在実用化されている青色、青緑色LEDの発光チップは、基本的には、サファイア基板の上に、n型GaNよりなるn型コンタクト層と、n型AlGaNよりなるn型クラッド層と、n型InGaNよりなる活性層と、p型AlGaNよりなるp型クラッド層と、p型GaNよりなるp型コンタクト層とが順に積層された構造を有している。サファイア基板とn型コンタクト層との間にはGaN、AlGaNまたはAlNよりなるバッファ層が形成されている。活性層のn型InGaNはSi、Ge等のn型ドーパントおよび/またはZn、Mg等のp型ドーパントがドーピングされており、LED素子の発光波長は、その活性層のInGaNのIn組成比を変えるか、または活性層にドーピングする不純物の種類を変えることにより、紫外から赤色領域まで変化させるこ

3

とが可能となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来のLEDは、20 mAにおいて発光出力は3 mW近くあり、SiCよりなるLEDと比較して200倍以上の出力を有しているが、短波長LEDの実現、さらに高輝度なLEDを実現するためには、さらなる発光出力の向上が望まれている。従って、本発明は窒化物半導体よりなる発光素子の出力向上を目的とし、その目的達成のために新規な窒化物半導体発光素子の構造を提供するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、窒化物半導体で形成されるダブルヘテロ構造においてInとGaを含む窒化物半導体よりなる活性層を挟むクラッド層について鋭意研究した結果、少なくとも一方の、好ましくは両方のクラッド層をInとGaとを含む窒化物半導体で形成することにより、発光素子の出力が飛躍的に向上することを新たに発見し、本発明をなすに至った。

【0006】即ち、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0007】また、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0008】さらに、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0009】上記各発明において、第1のn型クラッド層上にn型Ga_{1-x}Nよりなるn型コンタクト層を形成し、および/または第1のp型クラッド層上にp型Ga_{1-x}Nよりなるp型コンタクト層を形成することができる。

【0010】また、上記各発明において、第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を形成

(3)

4

し、および/または第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を形成することができる。この場合、第2のn型クラッド層上にn型Ga_{1-x}Nよりなるn型コンタクト層を形成し、および/または第2のp型クラッド層上にp型コンタクト層を形成することができる。本発明の1つのより好ましい態様において、活性層は、量子井戸構造として形成される。

10 【0011】

【作用】従来の窒化物半導体発光素子はInGa_{1-x}Nよりなる活性層をAlGa_{1-x}Nよりなるクラッド層で挟んだ構造を有していた。一方、本発明では新たにこのInGa_{1-x}Nよりなる活性層を、その活性層よりもバンドギャップの大きいInGa_{1-x}Nで挟むことにより発光出力が飛躍的に向上することを見いだした。これは新たなInGa_{1-x}Nクラッド層がInGa_{1-x}N活性層とAlGa_{1-x}Nクラッド層との間のバッファ層として働いているからである。InGa_{1-x}Nは結晶の性質として柔らかい性質を有しており、AlGa_{1-x}Nクラッド層とInGa_{1-x}Nとの格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる結晶欠陥を吸収する働きがあると考えられる。このため新たに形成したInGa_{1-x}Nクラッド層が、これら結晶欠陥を吸収してInGa_{1-x}N活性層の結晶欠陥が大幅に減少するので、InGa_{1-x}N活性層の結晶性が飛躍的に良くなるので発光出力が増大するのである。

【0012】一方、従来のInGa_{1-x}N活性層をAlGa_{1-x}Nクラッド層で挟んだ構造では、例えばInGa_{1-x}N活性層の厚さを200オングストローム未満にすると、AlGa_{1-x}Nクラッド層とInGa_{1-x}N活性層とにクラックが多数生じる。これはAlGa_{1-x}Nクラッド層が結晶の性質上、非常に硬い性質を有しており、薄い膜厚のInGa_{1-x}N活性層のみではAlGa_{1-x}Nクラッド層との界面から生じる格子不整合と、熱膨張係数差から生じる歪をInGa_{1-x}N活性層で弾性的に緩和できないことを示している。このためInGa_{1-x}N活性層、AlGa_{1-x}Nクラッド層にクラックが生じるので発光出力の大幅な向上が望めないのである。従って従来ではInGa_{1-x}N活性層の膜厚を例えば200オングストローム以上にしないとクラックが生じ素子作製は困難であった。

40 【0013】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の一例に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す概略断面図である。この発光素子は、基板1を有し、基板1上には、基板1と上に形成される窒化物半導体層との格子不整合を緩和するバッファ層2が形成されている。バッファ層2上には、負電極を形成するためのn型コンタクト層3が形成され、このコンタクト層3上には、第2のn型クラッド層4が形成され、第2のn型クラッド層4上には、第1のn型クラッド層5が形成されている。第1のn型クラ

5

ッド層5上には、活性層6が、活性層6の上には、第1のp型クラッド層7がそれぞれ形成されている。第1のp型クラッド層7上には、第2のp型クラッド層8が、その上には正電極を形成するためのp型コンタクト層9が形成されている。

【0014】本発明において、活性層6は、InおよびGaを含有する窒化物半導体、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) で形成され、n型、p型いずれでもよいが、ノンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり、レーザ素子を実現する上で特に好ましい。活性層6にn型ドーパントおよび／またはp型ドーパントをドーブしてもよい。活性層6にn型ドーパントをドーブするとノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層6にp型ドーパントをドーブするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低エネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広がる。活性層6にp型ドーパントとn型ドーパントとの双方をドーブすると、前述したp型ドーパントのみドーブした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーブした活性層を形成する場合、活性層の導電性はSi等のn型ドーパントをもドーブして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させてレーザ素子とするには、ノンドープが最も好ましい。

【0015】活性層6の厚さは、全体を単一組成の窒化物半導体で構成する場合、0.5 μm 以下、さらに好ましくは0.1 μm 以下、最も好ましくは0.05 μm （500オングストローム）以下の厚さに調整することができる。インジウムを含む窒化物半導体は、単一組成である場合、厚さが増すほど結晶欠陥が生じやすく、その厚さが薄いほど結晶性が良くなる傾向にあるからである。

【0016】ところで、活性層6を量子井戸構造（単一量子井戸構造または多重量子井戸構造）とすることにより、発光波長の半値幅がより狭くなり、発光出力も向上することがわかった。

【0017】ここで、量子井戸構造とは、ノンドープの活性層構成窒化物半導体（好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)）による量子準位間の発光が得られる活性層の構造をいい、単一量子井戸構造とは、井戸層が単一組成の1層よりなる構造を指す。すなわち、単一量子井戸構造の活性層は、単一の井戸層のみにより構成される。また、多重量子井戸構造とは、井戸層と障壁層を交互に積層した多層膜構造を指す。この多層膜構造において、両側の2つ最外層は、それぞれ井戸層により構成される。すなわち、多重量子井戸構造の活性層は、例えばInGa N /Ga N 、InGa N /InGa N （組成が異なる）等の井戸層／障壁層の組み合わせからなり、これら井戸層および障壁層を交互に積層した薄膜積層構

(4)

6

造である。このように、活性層6を多重量子井戸構造とする場合、障壁層は、InGa N ばかりでなく、Ga N で形成することもできる。活性層6を多重量子井戸構造とすると、単一量子井戸構造の活性層よりも発光出力が向上する。その場合、井戸層は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下の膜厚が望ましい。この井戸層の膜厚の範囲は単一量子井戸構造の活性層（単一の井戸層により構成される）についても同様である。一方、多重量子井戸構造における障壁層は、150オングストローム以下、さらに好ましくは100オングストローム以下の厚さが望ましい。すなわち、多重量子井戸構造の活性層において、井戸層の厚さを数オングストローム～数十オングストロームとし、障壁層も同様に数オングストローム～数十オングストロームの厚さとし、これら井戸層と障壁層を積層して、多重量子井戸構造とすることができる。

【0018】本発明において、第1のn型クラッド層5は、InとGaを含有するn型窒化物半導体、好ましくは、n型 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) で形成される。また、第1のp型クラッド層7は、InとGaを含有するp型窒化物半導体、好ましくは、p型 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 1$) で形成される。これらクラッド層5および7は、いずれか一方のみを形成してもよいが、特に好ましくは、図1に示すように、両者を形成する。インジウムを含む第1のn型クラッド層5および第2のp型クラッド層7は結晶が柔らかいので、これらのクラッド層5、7がクッションのようにバッファ層の作用をして、これらのクラッド層5、7の外側に、後述する第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8、n型コンタクト層3、p型コンタクト層9を形成した際に、これらの層（3、4、8、9）中にクラックが入るのを防止することができる。InGa N がバッファ層として作用する膜厚の好ましい範囲は、活性層6と第1のn型クラッド層5、活性層6と第1のp型クラッド層7、活性層6と第1のn型クラッド層5と第1のp型クラッド層7の組み合わせにおいて、その組み合わせたInGa N 層の総膜厚を300オングストローム以上にするのが好ましい。また、発光素子の場合には第1のn型クラッド層5を省略すれば、後に述べる第2のn型クラッド層4が第1のn型クラッド層5として作用し、また第1のp型クラッド層7を省略すれば同じく後に述べる第2のp型クラッド層8が第1のp型クラッド層7として作用する。

【0019】以上、InGa N よりなる第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7について説明したが、これらのInGa N のIn組成比、つまり上記各組成式におけるx値、y値、z値は、それぞれ、0.5以下、好ましくは0.3以下、最も好ましくは0.2以下に調整することが望ましい。インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGa N の結晶性が悪く

7

なり発光出力が低下する傾向にあるからである。さらに、前記 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ とは、その式中において InGaN の効果を変化させない範囲で Ga の一部を微量の Al で置換した InAlGaN も前記式中に含まれるものとする。例えば $\text{In}_a'\text{Al}_b'\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$ 式中で b' 値が 0.1 以下であれば第 1 の n 型クラッド層、活性層、第 2 の p 型クラッド層の効果は変わらない。ただ、 Al を含有させると結晶が硬くなる傾向にあるので四元混晶の窒化物半導体よりも、 Al を含まない三元混晶の InGaN のみで活性層 6、第 1 の n 型クラッド層 5、第 1 の p 型クラッド層 7 を構成するのが発光出力が大きくなり最も良い。

【0020】次に、アルミニウムとガリウムとを含む n 型窒化物半導体、好ましくは、n 型 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) よりなる第 2 の n 型クラッド層 4 と、アルミニウムとガリウムとを含む p 型窒化物半導体好ましくは、p 型 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) よりなる第 2 の p 型クラッド層 8 は、いずれか一方のみを形成することができるが、望ましくは、図 1 に示すように、第 1 の n 型クラッド層 3 に接して第 2 の n 型クラッド層 4 を形成すると共に、第 1 の p 型クラッド層 7 に接して第 2 の p 型クラッド層 8 を形成する。第 2 の n 型クラッド層 4、第 2 の p 型クラッド層 8 は 50 オングストローム～0.5 μm の膜厚で形成することが望ましい。また、 AlGaN の Al 混晶比、つまり上記各組成式における a 値、 b 値は、それぞれ、0.6 以下、さらに好ましくは 0.4 以下にすることが望ましい。 AlGaN は結晶が硬く、 a 値、 b 値が 0.6 より大きいと AlGaN 層にクラックが発生しやすいからである。前記 InGaN からなる半導体層がバッファ層として作用しても、これらの値がそれぞれ 0.6 よりも大きいと、クラックが発生しやすくなる。

【0021】また、前記 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ とは、その式中において AlGaN の効果を変化させない範囲で Ga の一部を微量の In で置換した InAlGaN も前記式中に含まれるものとする。例えば $\text{In}_a'\text{Al}_b'\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$ 式中で a' 値が 0.1 以下であれば AlGaN の効果はほとんど変わることがない。但し、微量の In を含有させるとバンドギャップが小さくなるので、第 1 の n 型クラッド層 5、活性層 6、第 2 の p 型クラッド層 7 よりもバンドギャップを大きくしなければならぬ。また、 In を含有させると結晶性が悪くなり発光出力が低下する傾向にあるので、四元混晶の窒化物半導体よりも、 In を含まない三元混晶の AlGaN のみで第 2 の n 型クラッド層 4、第 2 の p 型クラッド層 8 を構成するのが発光出力が大きくなり最も好ましい。このように、 Al を含む層を第 2 の n 型クラッド層 4、および前記第 2 の p 型クラッド層 8 とすることにより、活性層 6、第 1 の n 型クラッド層 5、第 1 の p 型ク

(5)

8

ラッド層 7 とのバンドオフセットを大きくできるので発光効率を上げることができる。

【0022】活性層と第 1 のクラッド層の好ましい組み合わせは、第 1 の n 型クラッド層を $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、活性層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、第 1 の p 型クラッド層を $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ で形成するものである。但し、この組み合わせにおいて、バンドギャップの関係から $y < x$ 、 $z < x$ を満たしていることはいうまでもない。活性層は、n 型またはノンドープの方がバンド間発光による半値幅の狭い発光が得られるので好ましい。

【0023】さらに最も好ましい組み合わせは、第 2 の n 型クラッド層を $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 、第 1 の n 型クラッド層を $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、活性層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、第 1 の p 型クラッド層を $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 、第 2 の p 型クラッド層を $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ で形成するものである。この組み合わせによると、最も結晶性に優れた窒化物半導体を積層したダブルヘテロ構造となり、飛躍的に発光出力が向上する。

【0024】次に、n 型コンタクト層 3 は、望ましくは、図 1 に示すように、第 2 の n 型クラッド層 4 に接して n 型コンタクト層 3 を形成し、第 2 の p 型クラッド層 8 に接して p 型コンタクト層 9 を形成することが最も良い。また、n 型コンタクト層 3 は、第 2 の n 型クラッド層 4、若しくは第 1 の n 型クラッド層 5 のいずれかに形成可能であり、p 型コンタクト層 9 は第 2 の p 型クラッド層 8、若しくは第 1 の p 型クラッド層 7 のいずれかにも形成可能である。つまり、第 2 の n 型クラッド層 4 を省略すれば、第 1 の n 型クラッド層 5 に接して形成することができるが、p 型コンタクト層 9 も同様に第 2 の p 型クラッド層 8 を省略すれば第 1 の p 型クラッド層 7 に接して形成することができる。極端な場合では、第 1 の n 型クラッド層 5 と第 2 の n 型クラッド層 4 とを共に省略して、n 型コンタクト層 9 をクラッド層としたり、第 1 の p 型クラッド層 7 と第 2 の p 型クラッド層 8 とを共に省略して、p 型コンタクト層 9 をクラッド層とすることも可能であるが、発光出力は省略しないものに比較して極端に低下する傾向にあるので望ましくない。即ち、本発明の発光素子では、図 1 に示す構造のものが最も高出力が得られる。

【0025】さらにまた、n 型コンタクト層 3、p 型コンタクト層 9 を構成する窒化物半導体は Al 、 In を含まない GaN とする必要がある。コンタクト層は電極を形成する層であるので、結晶性が良く、キャリア濃度が大きい層を形成すれば電極材料とオーミックが得られやすくなる。そのためには GaN が最も好ましい。また、n 型コンタクト層 3 とオーミックが得られやすい電極材料としては Ti と Al を含む金属材料が好ましく、p 型コンタクト層 9 とオーミックが得られやすい電極材料には Ni と Au を含む金属材料が好ましい。このように電極を形成すべき層として GaN よりなるコンタクト層を

9

形成すると、発光素子のVf（順方向電圧）を低下させ、発光効率を向上させることができる。

【0026】次に、図2に本発明の一実施例に係る発光素子（レーザーダイオード）の構造を示す概略断面図を示し、図3に図2の発光素子の斜視図を示す。図2において、図1と同様の部分には同じ符号を付している。この発光素子は、n型コンタクト層3と第2のn型クラッド層5との間に形成されたn型多層膜44を有し、またp型コンタクト層9と第2のp型クラッド層8との間に形成されたp型多層膜55を有する。なお、n型多層膜44およびp型多層膜55は互いに組成の異なる窒化物半導体、つまり互いに屈折率の異なる2種類の窒化物半導体が、例えば $\lambda/4n$ （ λ :波長、 n :屈折率）で交互に2層以上積層されて、活性層6の発光波長を多層膜44、55で反射できるように設計されている。第2のn型クラッド層4とn型コンタクト層3との間にn型多層膜44を形成し、さらに第2のp型クラッド層8とp型コンタクト層9との間にp型多層膜55を形成することにより、図2、図3に示すように例えば正電極を10 μ m以下のストライプ電極としてレーザ発振を試みた際、活性層6の発光を多層膜反射層で活性層に閉じこめ可能となるので、容易にレーザ発振できる。なお前記多層膜44、55にはそれぞれn型ドーパント、p型ドーパントがドーパされて導電型が決定されている。

【0027】また、図2に示すようにサファイアを基板としてレーザ素子を作製する場合、レーザ素子の構造はフリップチップ方式となる。つまり同一面側から正電極、負電極を取り出す構造となる。この場合、図2に示すようにn型層側に形成するn型多層膜44は、負電極を形成するコンタクト層3の水平面よりもp層側に形成することが好ましい。なぜなら、n型多層膜44をコンタクト層3の水平面よりも基板1側に形成すると、第2のn型クラッド層4とn型コンタクト層3との屈折率差が小さいので、活性層6の発光が活性層6よりも下のn型コンタクト層3中で広がってしまい、光閉じこめができないからである。これはサファイアのような絶縁性基板を使用した窒化物半導体レーザ特有の効果である。

【0028】図2および図3はレーザ素子を示すものであるが、前記n型多層膜44、p型多層膜55は、n型層、p型層のいずれか一方にのみ形成することもできる。いずれか一方に形成すると、例えばLED素子を作製した場合に、多層膜で活性層の発光を発光観測面側に全反射できるので、発光素子の発光出力が向上する。またn型多層膜44はn型コンタクト層3の内部にも形成することができる。つまりn型Ga_{1-x}N+n型多層膜44+n型Ga_{1-x}Nの積層構造としても、多層膜の作用は変わることがない。但し、上に述べたように、サファイアを基板とするフリップチップ方式のレーザ素子を実現する場合には、n型多層膜44の位置を負電極を形成するn型コンタクト層3の水平面よりも上、つまりp型層側に

(6)

10

することが好ましいことはいうまでもない。また同様にp型多層膜55もp型コンタクト層9の内部に形成することも可能である。

【0029】前記多層膜を構成する2種類の窒化物半導体は、少なくとも一方がインジウムとガリウムとを含む窒化物半導体（例えばIn_cGa_{1-c}N（0<c<1））またはGa_{1-x}Nであることが好ましい。なぜなら、単一層を積層して多層膜とする場合、その単一層の一方にIn_cGa_{1-c}N、Ga_{1-x}Nを形成することにより、Ga_{1-x}N、In_cGa_{1-c}N層がバッファ層のような作用をして、もう一方の単一層にクラックが入るのを防止することができるからである。これはIn_cGa_{1-c}N層、Ga_{1-x}N層の結晶がAlGa_{1-x}Nに比べて柔らかいことによるものである。これに対し、多層膜を例えば互いにAl組成の異なるAlGa_{1-x}N層により、例えば総膜厚0.5 μ m以上となるように多層形成すると、多層膜中にクラックが入り、素子作製が困難となる。

【0030】多層膜を構成する2種類の窒化物半導体の好ましい組み合わせは、一方が前記のようにIn_cGa_{1-c}N若しくはGa_{1-x}Nよりなり、もう一方がアルミニウムとガリウムとを含む窒化物半導体（例えば、Al_dGa_{1-d}N（0<d<1））で構成することが最良である。なぜなら、In_cGa_{1-c}NとAl_dGa_{1-d}Nとは屈折率の差が大きいためこれらの材料で多層膜を構成することにより、発光波長に応じて反射率の大きい多層膜の設計が可能であるからである。また、In_cGa_{1-c}Nがバッファ層の作用をしているため、Al_dGa_{1-d}N層にクラックが入ることなく10層以上積層可能となる。なお、InN、Ga_{1-x}N、AlNの屈折率はそれぞれ、2.9、2.5、2.15である。これらの混晶の屈折率はベガードの法則に従うと仮定し、組成に比例すると求めることができる。

【0031】ここで、In_cGa_{1-c}Nのc値は上述したように0.5以下、好ましくは0.3以下、最も好ましくは0.2以下に調整することが望ましい。なぜなら、インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGa_{1-x}Nの結晶性が悪くなるからである。またAl_dGa_{1-d}Nのd値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましい。0.6より大きいとAlGa_{1-x}N層にクラックが発生しやすいからである。

【0032】以上、発光素子の構造について説明したが、次に製造方法について簡単に説明する。窒化物半導体よりなる発光素子を作製するには、例えばMOVPE（有機金属気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）、HDVPE（ハイドライド気相成長法）等の気相成長法を用いて、基板上にIn_{a'}Al_{b'}Ga_{1-a'-b'}N（0 \leq a'、0 \leq b'、a'+b' \leq 1）をn型、p型等の導電型でダブルヘテロ構造になるように積層することによって得られる。基板1には例えばサファイア（C面、A面、R面を含む）、SiC（6H-SiC、4H

11

—SiCも含む)、スピネル (MgAl_2O_4 、特にその(111)面)、 ZnO 、 Si 、 GaAs 等が使用でき、図2ではサファイア基板を示している。n型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、 Si 、 Ge 、 S 等のn型ドーパントを結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。またp型の窒化物半導体層は Mg 、 Zn 、 Cd 、 Ca 、 Be 、 C 等のp型ドーパントを同じく結晶成長中に半導体層中に導入するか、または導入後400℃以上でアニーリングを行うことにより得られる。バッファ層2は基板1と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられ、例えばMOVPE法では500℃前後の低温で GaN 、 AlN 、 GaAlN 等が形成されることが多い。また SiC 、 ZnO のような窒化物半導体と格子定数の近い基板を使用する際にはバッファ層が形成されないこともある。

【0033】

【実施例】以下本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。以下の実施例はMOVPE法による成長方法を示している。

実施例1

図1を参照して本実施例を説明する。

【0034】TMG (トリメチルガリウム) と NH_3 とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板1のC面に500℃で GaN よりなるバッファ層2を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0035】次に温度を1050℃まで上げ、TMG、 NH_3 に加え SiH_4 ガスを用い、 Si ドープn型 GaN よりなるn型コンタクト層3を4 μm の膜厚で成長させた。

【0036】続いて原料ガスにTMA (トリメチルアルミニウム) を加え、同じく1050℃で Si ドープn型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 層よりなる第2のn型クラッド層4を0.1 μm の膜厚で成長させた。

【0037】次に、温度を800℃に下げ、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、 NH_3 、 SiH_4 を用い、 Si ドープn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第1のn型クラッド層5を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0038】続いてTMG、TMI、 NH_3 を用い800℃でノンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる活性層6を400オングストロームの膜厚で成長させた。続いてTMG、TMI、 NH_3 に加え新たに Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い800℃で Mg ドープp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第1のp型クラッド層7を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0039】次に温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、 Mg ドープp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第2のp型クラッド層8を0.1 μm の膜厚で成長させた。

(7)

12

【0040】続いて1050℃でTMG、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、 Mg ドープp型 GaN よりなるp型コンタクト層9を0.5 μm の膜厚で成長させた。反応終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700℃でウェーハのアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した。次に最上層のp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3の表面が露出するまでエッチングした。エッチング後、n型コンタクト層3の表面に Ti と Al よりなる負電極、p型コンタクト層9の表面に Ni と Au よりなる正電極を形成した。電極形成後、ウェーハを350 μm 角のチップに分離した後、常法に従い半値角15度の指向特性を持つLED素子とした。このLED素子はIf (順方向電流) 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長390nmの紫色発光を示し、光度は4cdあり、発光出力は6mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0041】実施例2

20 活性層6を $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ で形成した以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLEDは、If 20mAにおいて、Vf 3.1V、発光ピーク波長510nm、半値幅20nmの緑色発光を示し、光度16cd、発光出力6mWとバンド間発光による高輝度な緑色LEDが実現できた。

【0042】実施例3

30 p型ドーパント源としてDEZ (ジエチルジシラン)、n型ドーパントとして SiH_4 を用いて、活性層6として Si と Zn をドーパしたn型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層を1000オングストロームの膜厚で形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20mAにおいて、発光ピーク波長450nm、半値幅70nmの青色発光を示し、光度10cd、発光出力7mWと優れた特性を示した。

【0043】実施例4

第1のp型クラッド層7を形成しなかった以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、光度が3cd、発光出力が5mWであった以外は実施例1のLED素子と同等であった。

40 【0044】実施例5

第1のn型クラッド層5を形成しなかった以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、光度が3cd、発光出力が5mWであった以外は実施例1のLEDと同等であった。

【0045】実施例6

50 活性層をノンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ により20オングストロームの厚さに形成して単一量子井戸構造とした以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20mAにおいて、Vf 3.1V、発光波長450nmの青色発光を示し、光度が5cd

13

d、発光出力が6mWであり、発光スペクトルの半値幅は20nmとシャープなバンド間発光であった。

【0046】実施例7

この実施例は図2および図3を参照して説明する。実施例1の手法に従いn型コンタクト層3までを成長させた後、温度を800℃に下げ、TMG、TMI、NH₃、SiH₄を用い、Siドープn型In_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる薄膜を380オングストロームの膜厚で成長させた。次に、温度を1050℃に上げTMG、TMA、NH₃、SiH₄を用い、Siドープn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる薄膜を390オングストロームの膜厚で成長させた。これらの操作を20回繰り返して、Siドープn型In_{0.01}Ga_{0.99}N層とSiドープAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を交互に10層ずつ積層した第1のn型多層膜44を形成した。

【0047】次に第2のn型クラッド層4、第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7、および第2のp型クラッド層8を実施例1と同様に成長させた。次に、温度を800℃にしてTMG、TMI、NH₃、Cp₂Mgを用い、Mgドープp型In_{0.01}Ga_{0.99}N層を380オングストローム成長させ、続いて温度を1050℃にして、TMG、TMA、NH₃、Cp₂Mgガスを用い、Mgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層を390オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ交互に10層ずつ積層した第2のp型多層膜55を形成した。

【0048】p型多層膜55形成後、そのp型多層膜55の表面に実施例1と同様にしてp型コンタクト層9を成長させたウェーハを作製した。次に、実施例1と同様にして窒化物半導体層をエッチングした後、最上層であるp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3に50μmの幅で負電極、p型コンタクト層9に10μmの幅で正電極をそれぞれ形成した。このようにn型コンタクト層の表面にn型多層膜44を形成すると、自然に負電極を形成する水平面がn型多層膜44よりも下、つまり図2に示すように基板側となる。

【0049】次に、窒化物半導体層を形成していない方のサファイア基板面を研磨して基板の厚さを90μmにし、サファイア基板表面のM面（六方晶系において六角柱の側面に相当する面）をスクライブした。スクライブ後、ウェーハを700μm角のチップに分割し、図3に示すようなストライプ型のレーザを作製した。なお図3は本実施例によるレーザ素子の斜視図を示しており、ス

14

トライプ状の正電極と直交した窒化物半導体層面を光共振面としている。またこのレーザ素子の電極を除いた表面をSiO₂よりなる絶縁膜で被覆しているが、絶縁膜は特に図示していない。次に、このチップをヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンドした後、常温でレーザ発振を試みたところ、しきい値電流密度1.5kA/cm²で発振波長390nmのレーザ発振が確認された。

【0050】

- 10 【発明の効果】以上説明したように、本発明の発光素子は、InGa_{0.99}N活性層の両側またはその一方に接してInGa_{0.99}Nクラッド層を形成することにより、活性層の結晶性が良化して発光出力が格段に向上する。例えば従来の青色LEDでは450nmにおいて、光度2cd、発光出力が3mW程度であったが、本発明では青色LEDでその倍以上の発光出力を達成することができる。また、従来の活性層のインジウム組成比を大きくすると結晶性が悪くなって、バンド間発光で520nm付近の緑色発光を得ることは難しかったが、本発明によると活
- 20 性層の結晶性が良くなるので、従来の困難であった高輝度な緑色LEDも実現できた。このように本発明の発光素子は、従来の実現できなかった高輝度な緑色LEDを初めて実現させてきたことにより、この効果は非常に大きく、高輝度のフルカラーLEDディスプレイが初めて製作可能となり、また照明用光源、読み取り用光源等、その産業上の利用価値は多大なものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

- 30 【図2】 本発明の他の実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

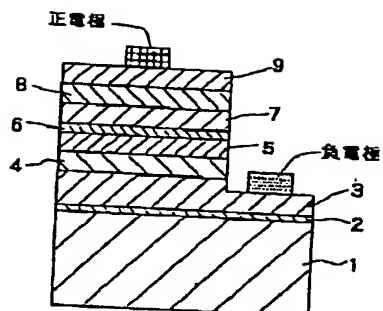
【図3】 図2の発光素子の構造を示す斜視図。

【符号の説明】

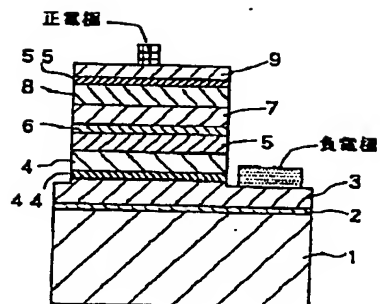
- 1…サファイア基板
2…バッファ層
3…n型コンタクト層
4…第2のn型クラッド層
5…第1のn型クラッド層
6…活性層
40 7…第1のp型クラッド層
8…第2のp型クラッド層
9…p型コンタクト層
44…n型多層膜
55…p型多層膜

(9)

【図1】



【図2】



【図3】

